

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-104572

(43)Date of publication of application : 01.05.1991

(51)Int.Cl. B25J 3/04

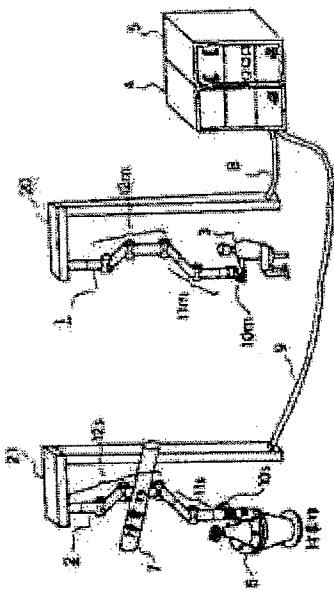
B25J 19/06

G05D 3/12

(21)Application number : 01-237250 (71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 14.09.1989 (72)Inventor : SAWA TOSHIYUKI
ICHIKAWA YOSHIAKI
SUZUKI MASANORI

(54) METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING MASTER SLAVE MANIPULATOR



(57)Abstract:

PURPOSE: To improve the operability of a master slave manipulator by controlling an arm part to correct the movement of the master slave manipulator or the movement determined by an operation support device when the interference with an obstruction is judged.

CONSTITUTION: An operation support device 5 having the function for detecting the position of an obstruction when it is present is provided, and when a slave manipulator 2 is operated according to the movement of a master manipulator 1, with respect to the movement of the wrist 11m of the slave manipulator, the master manipulator 1 is operated so that an

operator can avoid the obstruction by eyes, and the wrist 11m of the slave manipulator is made to follow this. With respect to the movement of the arm part 12s of the slave manipulator, the presence of the interference with the obstruction when the slave manipulator makes the movement of the master manipulator 1 or the movement determined by the operation support device 5 is judged by the operation support device, and when the interference is judged, the movement of the manipulator is controlled.

⑪ 公開特許公報(A) 平3-104572

⑫ Int. Cl.⁵B 25 J 3/04
19/06
G 05 D 3/12

識別記号

府内整理番号

⑬ 公開 平成3年(1991)5月1日

7828-3F

7828-3F

8730-5H

M

審査請求 未請求 請求項の数 9 (全13頁)

⑭ 発明の名称 マスタスレーブマニピュレータの制御方法及び装置

⑮ 特願 平1-237250

⑯ 出願 平1(1989)9月14日

⑰ 発明者 澤 敏之 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

⑰ 発明者 市川 芳明 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

⑰ 発明者 鈴木 正憲 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

⑰ 出願人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

⑰ 代理人 弁理士 秋本 正実

明細書

1. 発明の名称

マスタスレーブマニピュレータの制御方法及び装置

スタマニピュレータの対応する関節角を目標関節角としたときの上記操作支援装置から出力される目標関節角となるように制御することを特徴とするマスタスレーブマニピュレータの制御方法。

2. 特許請求の範囲

1. スレーブマニピュレータの先端部と該先端部を除いたアーム部のそれぞれに対応する先端部及びアーム部を有したマスタマニピュレータと、与えられた目標関節角となるように上記スレーブマニピュレータのアーム部各関節を動かしたときに該アーム部が障害物と干渉するか否かを検出する検出機能と該機能により上記干渉が検出されたときは該干渉を回避するように上記目標関節角を修正し上記干渉がなければ与えられた目標関節角をそのまま出力する修正機能とを有した操作支援装置とを設けるとともに、上記スレーブマニピュレータの先端部の各関節角は上記マ

2. スレーブマニピュレータの先端部に対応した先端部を有したマスタマニピュレータと、アクセルと、スレーブマニピュレータの各関節角と上記アクセルからの信号に応じてスレーブマニピュレータの上記先端部を除いたアーム部の各関節角の目標関節角を算出し、該目標関節角となるように上記スレーブマニピュレータのアーム部各関節を動かしたときに該アーム部が障害物と干渉するか否かを検出する検出機能と該機能により上記干渉が検出されたときは該干渉を回避するように上記目標関節角を修正し上記干渉がなければ与えられた目標関節角をそのまま出力する修正機能とを有した操作支援装置とを設けるとともに、上記スレーブマニピュレータの先端部の各関節角は上記マスタマニピュレ

タの先端部の対応する関節角に追隨するように制御し、上記スレーブマニピュレータのアーム部の各関節角は上記操作支援装置から出力される目標関節角となるように制御することを特徴とするマスタスレーブマニピュレータの制御方法。

3. スレーブマニピュレータの先端部と該先端部を除いたアーム部のそれぞれに対応する先端部及びアーム部を有したマスタマニピュレータと、与えられた目標関節角となるように上記スレーブマニピュレータのアーム部各関節を動かしたときに該アーム部が障害物と干渉するか否かを検出する検出機能と該機能により上記干渉が検出されたときは該干渉を回避するように上記目標関節角を修正し上記干渉がなければ与えられた目標関節角をそのまま出力する修正機能とを有した操作支援装置と、上記スレーブマニピュレータの先端部の各関節角を上記マスタマニピュレータの先端部の対応する関節角に追隨するように制御し、上記スレーブマニピュレータの

アーム部の各関節角を上記マスタマニピュレータの対応する関節角を目標関節角としたときの上記操作支援装置から出力される目標関節角となるように制御するマスタスレーブ制御装置とを設けたことを特徴とするマスタスレーブマニピュレータの制御装置。

4. スレーブマニピュレータの先端部に対応した先端部を有したマスタマニピュレータと、アクセルと、スレーブマニピュレータの各関節角と上記アクセルからの信号に応じてスレーブマニピュレータの上記先端部を除いたアーム部の各関節角の目標関節角を算出し、該目標関節角となるように上記スレーブマニピュレータのアーム部各関節を動かしたときに該アーム部が障害物と干渉するか否かを検出する検出機能と該機能により上記干渉が検出されたときは該干渉を回避するように上記目標関節角を修正し上記干渉がなければ与えられた目標関節角をそのまま出力する修正機能とを有した操作支援装置と、上記スレーブマニピュレータの先端部の各関節

角を上記マスタマニピュレータの先端部の対応する関節角に追隨するように制御し、上記スレーブマニピュレータのアーム部の各関節角を上記操作支援装置から出力される目標関節角となるように制御するマスタスレーブ制御装置とを設けたことを特徴とするマスタスレーブマニピュレータの制御装置。

5. 前記操作支援装置は、予め設定されたスレーブマニピュレータの作業環境情報と前記目標関節角とから障害物との干渉の有無を検出することを特徴とする請求項3もしくは4記載のマスタスレーブマニピュレータの制御装置。

6. スレーブマニピュレータの作業環境を撮像する撮像手段を設けるとともに、該手段により撮像された画像情報により前記作業環境情報を修正する機能を前記操作支援装置に設けたことを特徴とする請求項3もしくは4記載のマスタスレーブマニピュレータの制御装置。

7. 前記スレーブマニピュレータのアーム部の各関節角間を結合するリンクに物体が接近したこ

とを検出する近接センサまたは物体と接触したことを検出する接触センサを設け、上記近接センサまたは接触センサからの信号により前記操作支援装置は前記干渉の有無を検出することを特徴とする請求項3もしくは4記載のマスタスレーブマニピュレータの制御装置。

8. オペレータへの警告手段を設け、前記操作支援装置は、前記干渉が有ると判断したときに該干渉のあること及びその干渉を生じる関節あるいはリンクを上記警告手段によりオペレータへ知らせることを特徴とする請求項3もしくは4記載のマスタスレーブマニピュレータの制御装置。

9. 前記スレーブマニピュレータの先端部を撮像する三次元画像入力手段と、該手段により撮像された上記先端部の画像情報をオペレータに表示する表示手段とを設けたことを特徴とする請求項3もしくは4記載のマスタスレーブマニピュレータの制御装置。

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は、マスタスレーブマニピュレータの制御方法及び装置に関するものである。

[従来の技術]

マスタスレーブマニピュレータは、オペレータがマスタマニピュレータを操作すると、スレーブマニピュレータがそれに追随して動き、その動きによって物体の移動や加工などを行うもので、原子力プラントなどの危険な場所での作業に適した装置である。

従来のマスタスレーブマニピュレータには、スレーブマニピュレータが単純にマスタマニピュレータに追随するだけのものその他に、操作支援機構または装置を設け、マスタマニピュレータの動きと合わせてその動きとは無関係な特定の動きを行えるようにしたものがある。例えば特開昭58-132471号に示されたものでは、スレーブマニピュレータの先端をマスタマニピュレータの移動速度や方向に追随させずに、所定の速度及び方向に駆動してグラインダ作業を行わせる。このように特

定の動作を別の機構で行えば、例えば直線に沿っての研磨、溶接等の作業を正確に行え、操作性、作業性の向上がはかれる。

[発明が解決しようとする課題]

マスタスレーブマニピュレータの操作を行うときには、スレーブマニピュレータがその周囲にある物体に衝突や接触等の干渉を起こさないようにする必要がある。しかし、スレーブマニピュレータの手首（先端部に近い部分）については、マスタマニピュレータの同部分と同様にその動きを容易に判断できるが、先端から離れたアーム部の動きを知るのは困難である。従来の操作支援機構はこのような干渉を回避する機能を持っていないので、障害物がスレーブマニピュレータの周辺に存在する場合には操作性が良くないという問題があった。

本発明の目的は、スレーブマニピュレータと障害物が干渉するのを効率よく回避できるようにするための、マスタスレーブマニピュレータの制御方法及び装置を提供するにある。

[課題を解決するための手段]

上記の目的は、障害物が存在するときにその位置を検出する機能を持った操作支援装置を設け、マスタマニピュレータの動きに応じたスレーブマニピュレータの動作時に、スレーブマニピュレータの手首の動きについてはオペレータが目視により障害物回避を行うようにマスタマニピュレータを操作してこれにスレーブマニピュレータの手首を追随させ、スレーブマニピュレータのアーム部の動きについては、マスタマニピュレータの動きあるいは操作支援装置により求めた動きをしたときの障害物との干渉の有無を操作支援装置により判定し、もし干渉すると判定したときには、操作支援装置によって上記マスタマニピュレータの動きあるいは操作支援装置により求めた動きを修正した動きをするように上記アーム部を制御することにより達成される。

[作用]

オペレータが干渉の予測とその回避動作が困難なアーム部は、操作支援装置により干渉回避の制

御が行われるから、オペレータの操作の負担が大幅に減り、操作性が向上する。操作支援装置による障害物の検出は、マニピュレータの作業環境を予め記憶しておく方法、作業場に設けたカメラやアーム部に設けた近接センサ出力を処理して判断する等の種々の方法で可能である。

[実施例]

以下、本発明を実施例により説明する。第1図は本発明の第一の実施例を示すもので、マスタマニピュレータ（以下単にマスタと呼ぶ）及びスレーブマニピュレータ（以下単にスレーブと呼ぶ）はともに8自由度を持ち、また操作支援装置は予め作成された作業環境の三次元情報によってスレーブのアーム部衝突回避制御を行う例である。第1図において、マスタ1は手首11mの3自由度とエンドエフェクタ10m（対象物の移動、加工、ボルト取付等の作業を施す部分）の1自由度及びアーム部12mの4自由度を有し、架台20より伸びている。マスタ1の架台20の根元側より順に関節をJm1～Jm4（アーム部）、Jm5～Jm7（手

首)とし、その関節角をそれぞれ $\theta_{m1} \sim \theta_{m7}$ とする。各関節 J_{mi} ($i = 1 \sim 7$) とエンドエフェクタ $10s$ は関節を回転させるモータ及び回転角を検出するエンコーダから成る。関節間はリンクで連結されている。オペレータ 3 はマスタ 1 のエンドエフェクタ $10s$ を把持して、マスタ 1 を操作する。

スレーブ 2 は手首 $11s$ の 3 自由度とエンドエフェクタ $10s$ の 1 自由度及びアーム部 $12s$ の 4 自由度を有し、架台 21 より伸びている。スレーブ 2 の架台 21 の根元側より順に関節を $J_{s1} \sim J_{s7}$ とし、その関節角を $\theta_{s1} \sim \theta_{s7}$ とする。各関節 J_{si} ($i = 1 \sim 7$) とエンドエフェクタ $10s$ は関節を回転させるモータ及び回転角を検出するエンコーダから成る。関節間はリンクで連結されている。一般にスレーブ 2 のアーム部 $12s$ と手首 $11s$ の自由度の和が 6 あれば、スレーブ 2 のエンドエフェクタ $10s$ の位置及び姿勢を任意に選択できるが、ここでは、スレーブ 2 が 7 自由度（エンドエフェクタ $10s$ の自由度を除く）あり、冗長自由度を

有する構造となっている。エンドエフェクタ $10s$ は、ボルトの締め付け作業を行なうインパクトレンチ形、平行グリップ形、多指ハンド形等のエンドエフェクタであり、目的に応じて手首 $11s$ に取付けられて作業対象物 6 に対する作業を行う。障害物 7 は作業環境に存在する配管等であり、スレーブ 2 の動作範囲、姿勢を制限するものである。マスタスレーブ制御装置 4 はマスタ信号 8 によりマスタ 1 と、スレーブ信号 9 によりスレーブ 2 と接続されている。

第2図はマスタスレーブ制御装置 4 の入出力信号の説明図で、マスタ 1 の各関節の回転角 θ_{mi} ($i = 1 \sim 8$ 、ここで $i = 8$ はエンドエフェクタ $10s$ の回転角を意味するとする。また以下ではこの $(i = 1 \sim 7)$, $(i = 1 \sim 8)$ 等の記述を、特に指定しなくても意味が明確なときは省略する) を信号 8 として入力し、各関節へのモータ電流 I_{mi} を出力する。またスレーブ 2 の各関節の回転角 θ_{si} を信号 9 として入力し、各関節へのモータ電流 I_{si} を出力する。また、操作支援装置か

ら出力されるマスタ目標関節角 θ_{ri} を入力する。

第3図は操作支援装置 5 の構成を示すもので、環境形成装置 13 、干渉判定装置 14 及び座標変換装置 15 により成る。環境形成装置 13 は CAD データから作成された作業環境の三次元情報 P 、例えば障害物 7 の三次元情報が蓄えられている。干渉判定装置 14 は、上記の三次元情報 P と座標変換装置 15 からの目標関節角 θ_{ci} とから干渉の有無を調べ、その結果を判定信号 A として出力する。座標変換装置 15 は、マスタ 1 及びスレーブ 2 の関節角 θ_{mi} 及び θ_{si} を入力し、スレーブ目標関節角 θ_{ri} を出力する。

次に本実施例の動作を説明する。オペレータ 3 はマスタ 1 のエンドエフェクタ $10s$ を操作し、スレーブ 2 を動かして目的の作業を行うが、この作業は通常スレーブ 2 の手先部を振動しながらマスタ 1 を操作する。このためスレーブ 2 の手先部の障害物 7 への衝突回避はオペレータ操作で容易に行える。そこでこの手先部としてのスレーブ 2 の手首 $11s$ とエンドエフェクタ $10s$ をマスタスレー

ブ方式で制御し、オペレータによる衝突回避動作の難しいアーム部 $12s$ を操作支援装置 5 を用いて制御するものとする。

マスタスレーブ制御装置 4 による上記手先部の制御は、手首 $11s$ の関節角 $\theta_{m5} \sim \theta_{m7}$ と手首 $11s$ の関節角 $\theta_{s5} \sim \theta_{s7}$ を入力して、その差に比例した電流 I_{si} を出力する；

$$I_{si} = K_i (\theta_{mi} - \theta_{si}) \quad \dots (1)$$

$$(i = 5, 6, 7)$$

K_i : 比例定数

またエンドエフェクタ $10s$ がハインパクトレンチ形のときはエンドエフェクタ $10s$ の操作によってオンまたはオフし、エンドエフェクタ $10s$ が平行形グリップの場合には式(1)に従ってマスタスレーブ制御する。

一方、アーム部 $12s$ は次のように制御される。座標変換装置 15 はスレーブ 2 の関節角 θ_{si} とマスタ 1 の関節角 θ_{mi} とが入力されると、まず最初に干渉判定装置 14 にマスタの関節角 θ_{mi} を目標関節角 θ_{ci} として出力する。干渉判定装置 14

は、環境形成装置10から障害物7の位置までの三次元情報を取り込み、これと座標変換装置15からの目標関節角 $\theta_{c,i}$ の値から、スレーブ2のアーム部12sが障害物7に衝突するかどうかを判定し、その結果を座標変換装置15に判定信号Aとして出力する。座標変換装置15は、判定信号Aからアーム部12sと作業環境が干渉しないことが分かると、干渉判定装置14に出力した目標関節角 $\theta_{c,i}$ をスレーブ目標関節角 $\theta_{r,i}$ としてマスタスレーブ制御装置4に出力する。また、座標変換装置15は、判定信号Aから干渉することが分かること、目標関節角 $\theta_{c,i}$ を次のように変更する。

即ちアーム部12m及びアーム部12sの自由度はともに4なので、マスタ1のアーム部12mの先端に相当する位置（姿勢は含まず）にスレーブ2のアーム部12sの先端を移動させる目標関節角 $\theta_{c,i}$ は一意には決まらない。このため例えばスレーブ2の関節角 $\theta_{s,i}$ との差の二乗和：

$$S = \sum (\theta_{c,i} - \theta_{s,i})^2 \quad \dots (2)$$

が最小となるように目標関節角 $\theta_{c,i}$ を定める。

スレーブ2のアーム部12sが障害物7に衝突することなく作業が行える。

第4図は本発明の第2の実施例を示すもので、第1図の場合と異なるのは、マスタ1が手首11mの3自由度とエンドエフェクタ10mの1自由度の4自由度しか持たず、アーム部がない点と、アクセル16が設けられている点である。このマスタ1の関節を根元側よりJm1～Jm3、その関節角をθm1～θm3とする。オペレータ3はマスタ1のエンドエフェクタ10mを把持して、マスタ1を操作する。一方、スレーブ2は第1図と同じ8自由度のもので、エンドエフェクタ10sには物体を把持できる平行グリッパ形が装着されている。アクセル16は、ペダルとその回転角を検出するためのエンコーダとから成り、その検出信号であるアクセル信号17はマスタスレーブ制御装置4へ入力される。他の部分は第1図と同じ構成であるが、マスタスレーブ制御装置4及び操作支援装置5の動作は、後述するように第1図の場合と同一ではない。

送って干渉の有無を調べ、干渉するならば、そのときの目標関節角 $\theta_{c,i}$ を、障害物7に衝突しない方向に少しづつ変更して干渉の有無を調べるという動作を繰り返す。こうして干渉のないことが確認されたときの値 $\theta_{c,i}$ が目標関節角 $\theta_{r,i}$ としてマスタスレーブ制御装置4へ出力される。マスタスレーブ制御装置4は次式に従ってスレーブ2に電流 $I_{s,i}$ を出力し、関節 $J_{s,i}$ を制御する；

$$I_{s,i} = K_i (\theta_{r,i} - \theta_{s,i}) \quad \dots (3)$$

(i=1~4)

K_i ：比例定数

以上の動作においては、マスタスレーブ制御装置4からマスタ1へ出力される電流 $I_{m,i}$ は全て0であるが、マスタ1の自由度が6の場合にはマスタ1のアーム部12mの1つの関節がある一定の関節角に保持するために、その関節 $J_{m,j}$ のみに電流 $I_{m,j}$ を流す（jは1つの固定値）。

第1の実施例においては、オペレータ3は手先の作業だけ意識してマスタ1を操作すれば、スレ

ーブ2のアーム部12sが障害物7に衝突することなく作業が行える。

第4図は本発明の第2の実施例を示すもので、第1図の場合と異なるのは、マスタ1が手首11mの3自由度とエンドエフェクタ10mの1自由度の4自由度しか持たず、アーム部がない点と、アクセル16が設けられている点である。このマスタ1の関節を根元側よりJm1～Jm3、その関節角をθm1～θm3とする。オペレータ3はマスタ1のエンドエフェクタ10mを把持して、マスタ1を操作する。一方、スレーブ2は第1図と同じ8自由度のもので、エンドエフェクタ10sには物体を把持できる平行グリッパ形が装着されている。アクセル16は、ペダルとその回転角を検出するためのエンコーダとから成り、その検出信号であるアクセル信号17はマスタスレーブ制御装置4へ入力される。他の部分は第1図と同じ構成であるが、マスタスレーブ制御装置4及び操作支援装置5の動作は、後述するように第1図の場合と同一ではない。

スレーブ2のアーム部12sの制御は以下の通りである。本実施例では、マスタ1にアーム部がないから、スレーブ2のアーム部の最初の目標関節角 $\theta_{s,1} \sim \theta_{s,4}$ をマスタ1のアーム部から得ることはできない。そこで操作支援装置5は、スレーブ2の関節角 $\theta_{s,i}$ を入力して、まずスレーブ2の手首11sの方向ベクトル \vec{e} を次式で求める。

$$\vec{e} = C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 C_6 C_7 \vec{e}_i \quad \dots (4)$$

C_i ：スレーブ2の*i*番目の関節の4×4の座標変換マトリクスの中の始めの3×3マトリクス

\vec{e}_i ：第7関節の基準姿勢での関節中心軸のベ

$$\text{クトル} = (0, 0, 1)$$

ただし基準姿勢というのは、第5図に示したように、スレーブ2がまっすぐ直立した姿勢である。ここで、第6図に示すx軸、y軸、z軸回りの、関節の3×3マトリクスを $C_x(\theta)$, $C_y(\theta)$, $C_z(\theta)$ とすると

$$C_x(\theta) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdots (5)$$

$$C_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \cdots (6)$$

$$C_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdots (7)$$

であり、これらから式(4)は次となる；

$$C_1 = C_z(\theta_{s1}), C_2 = C_x(\theta_{s2}),$$

$$C_3 = C_y(\theta_{s3}), C_4 = C_y(\theta_{s4}),$$

$$C_5 = C_x(\theta_{s5}), C_6 = C_y(\theta_{s6}),$$

$$C_7 = C_z(\theta_{s7}),$$

を次式で計算する；

$$\vec{\theta}_c = (\theta_{c1}, \theta_{c2}, \theta_{c3}, \theta_{c4})$$

$$= \vec{\theta}_s + \tau \cdot \vec{\theta}_o \cdots (10)$$

ただし τ は操作支援装置5のサンプリング時間である。

第1の実施例においては、マスタ1のアーム部より入力される関節角 $\theta_{m1} \sim \theta_{m4}$ が最初の目標関節角 $\vec{\theta}_c$ として干渉判定装置へ入力されたが、本実施例では、式(10)の $\vec{\theta}_c$ がこれに相当する値である。干渉判定装置14は座標変換装置15で計算された目標関節角 θ_{ci} と環境形成装置13からの環境データPより干渉の有無の判定を行う。ここで干渉がない場合は干渉判定装置14は判定信号Aとして干渉がないことを送り、座標変換装置15はマスタスレーブ制御装置4にスレーブ目標関節角 $\theta_{ri} = \theta_{ci}$ を出力する。干渉がある場合には、干渉判定装置14は座標変換装置15に判定信号Aとして干渉していることを送る。このとき干渉判定装置14は次の手順で $\vec{\theta}_c$ を変更する。スレーブ

座標変換装置15は、目標関節角 θ_{ri} を計算するために以下の動作をする。スレーブ2の目標速度 v をアクセル信号17の値 Kv を用いて

$$\vec{v} = Kv \cdot \vec{e} \cdots (8)$$

により求める。Kvが0のときスレーブ2は手首11sだけ動き、アーム部12sは動かない。この速度でスレーブ2の手先を動かすために、スレーブ2の関節 $J_{s1} \sim J_{s4}$ の関節角速度 θ_{si} ($i = 1 \sim 4$)の一般解を次式で求める；

$$\vec{\theta}_s = J^+ \cdot \vec{v} + (I - J^+ J) \vec{u} \cdots (9)$$

ただし

$$J : ヤコビ行列 (v = J \cdot \theta_{si})$$

$$J^+ : J の疑似逆行列$$

$$I : 単位行列$$

$$\vec{u} : 任意ベクトル$$

$$\vec{\theta}_s = (\theta_{s1}, \theta_{s2}, \theta_{s3}, \theta_{s4})$$

$\vec{\theta}_s$ は一意には決まらないので $\|\vec{\theta}_s\|$ ($\vec{\theta}_s$ のユークリッドノルム)を最小にする解を $\vec{\theta}_o = (\theta_{o1}, \dots, \theta_{o4})$ とし、目標関節角 θ_c

スレーブ2の根元側の関節 J_{s1} より手先側の関節 J_{s4} へ向かって干渉の有無を判定し、最初に干渉した関節を J_{sj} とする。この関節 J_{sj} の関節角 θ_{sj} をこの値に最も近い値で干渉しない関節角 θ_{sj} に変更する。以上の処理を関節 J_{sj} が干渉しなくなるまで順に行い、干渉がなくなると、座標変換装置15から関節角 θ_{sj} を目標関節角 θ_{ci} としてマスタスレーブ制御装置4へ出力する。

マスタスレーブ制御装置4は、スレーブ2のアーム部12sの関節角 $\theta_{s1} \sim \theta_{s4}$ とスレーブ目標関節角 $\theta_{ri} \sim \theta_{r4}$ を入力して、その差に比例した電流を出力し、関節 J_{si} を制御する。

第2の実施例によれば、マスタ1を手首の3自由度とエンドエフェクタのみの簡単な構造にしても、オペレータ3はスレーブ2の手先の環境だけを意識してマスタ1を操作すれば、スレーブ2のアーム部12sが障害物に衝突することなく作業を行える。

第7図は本発明の第3の実施例を示すもので、第4図に示した第2の実施例に、スレーブ2の手

を表示する画像表示装置18と、これらを接続する画像信号19が付加されたものである。

本実施例において、オペレータ3がマスタ1を操作する方法及びスレーブ2の動作は第2の実施例と同じであるが、画像入力装置17はスレーブ2の手首11s、エンドエフェクタ10s及び作業対象物6の画像を取り込み、画像信号19を通して画像表示装置18に送信し、画像表示装置18はこの送信された画像を表示する。従ってオペレータ3はこの画像を観察しながらマスタ1を操作することができるので、オペレータ3の視覚範囲に障害物7が入り、スレーブ2の手先が直接観察できない場合でも、画像入力装置17をこの手先が観察可能な位置に設けておけば、その画像を画像表示装置18で観察できるので、スレーブ2を障害物7に衝突させることなくマスタ1を操作することができる。

なお、本実施例の付加部分、即ち画像入力装置及び画像表示装置を第1図に示した第1の実施例に付加しても、同じ効果を得ることができる。

検出し、干渉判定装置14に信号Qでその結果を知らせる。干渉していない場合は、式(4)～(10)で述べた方法により関節J-s-1～J-s-4を動かす。センサ検出装置24でアーム部12sと障害物7が干渉していることが検出されたときは、干渉判定装置14に干渉しているリンクL-s-jと干渉している方向 \vec{w} が信号Qで送信される。干渉判定装置14は、リンクL-s-jから根元の関節までの関節中心ベクトル \vec{u}_j と送られたベクトル \vec{w} とが垂直、即ち

$$\cos \gamma = \vec{u}_j \cdot \vec{w} / (\|\vec{u}_j\| \|\vec{w}\|)$$

が0となる関節角 $\theta_{s,j}$ を求める。ここで例えばベクトル \vec{u}_4 は次式となる：

$$\vec{u}_4 = C_s C_e C_c \vec{e}_z$$

そして関節J-s-jの目標関節角 $\theta_{c,j}$ のみを上に求めた関節角 $\theta_{s,j}$ に変更し、他はそのままにして座標変換装置15に出力する。これにより障害物7にリンクL-s-jが近づくことなく、現在位置を保持する。干渉しているリンクより根元側の関節が動いて、近接センサ22の出力から干渉していな

第4図に示した第2の実施例において、スレーブ2のアーム部12sの各リンクに近接センサ22を付加し、さらに操作支援装置5(第3図)の環境形成装置13に代わって第9図のようにセンサ検出装置24を設けたものである。近接センサ22は各リンクの前面に取り付けることが望ましいが、本実施例ではリンク代表点としてリンクの中間点に設けた。近接センサ22には光、超音波、電磁波を用いたものがあるが、ここでは光を用いた例について説明する。第10図はリンクに近接センサを取り付けたときの断面図で、図の斜線部(センサ先端から距離1の点を通る円内の一部)に物体が接近したときセンサ信号23を出力し、これはセンサ検出装置24に取り込まれる。センサ検出装置24は干渉判定装置14に信号Qを出力する。

次に動作について説明する。第2の実施例と異なるのは、スレーブ2のアーム部12sの障害物回避の方法であり、他は同じである。センサ検出装置24は、センサ信号23より干渉しているリンクを

いことがわかるが、式(10)で新たに計算した目標関節角 $\theta_{c,i}$ で干渉の原因となった関節角の目標値が干渉直前と反対になったときは、干渉判定装置14は干渉がないと判断して、判定信号Aを出力する。

第4の実施例によれば、スレーブ2のアーム部12sと障害物7との接近を近接センサ22で検出しているため、安価な装置で障害物回避ができる。同様に第1の実施例においても、第4の実施例で付加した部分を加えることにより同じ効果を得ることができる。また干渉検出は、近接センサによるとしたが、これは接触センサに替えることもできる。

第11図は本発明の第5の実施例を示すもので、第4図に示した第2の実施例において、マスタ1の操作領域に警告装置25を付加し、操作支援装置5の干渉判定装置14は、第12図のように警告装置25へ警告信号26を出力するようにしたものである。この構成では、干渉判定装置14が、第2の実施例と同様の計算によりスレーブ2のアーム部12sが

障害物 7 と干渉していることを検出すると、警告信号 26 を通して警告装置 25 に干渉した関節またはリンクを知らせる。警告装置 25 は音または表示によりオペレータ 3 に干渉している関節またはリンクを知らせる。

第 5 の実施例によれば、オペレータ 3 は干渉している関節、リンクがわかるので、その情報を考慮してマスタ 1 を操作でき、操作性を一層向上することができる。同様に第 1 の実施例においても、第 5 の実施例で付加した部分を加えることにより同じ効果を得ることができる。

第 13 図は本発明の第 6 の実施例を示すもので、第 4 図に示した第 2 の実施例において、スレーブ 2 の作業環境に三次元画像入力装置 27 を付加し、第 14 図に示すように操作支援装置 5 を三次元環境認識装置 28、環境形成装置 13、干渉判定装置 14 及び座標変換装置 15 で構成したものである。三次元画像入力装置 27 は三次元画像信号 29 を三次元環境認識装置 28 に出力し、三次元環境認識装置 28 は環境形成装置 13 に環境信号 D を送信する。

これ、スレーブマニピュレータの手首及びエンドエフェクタの動きはマスタマニピュレータのうごきに追従するので、マスタスレーブマニピュレータの操作性を良好にすることができます。

4. 図面の簡単な説明

第 1 図、第 2 図及び第 3 図は本発明の第 1 の実施例の全体システム図、マスタスレーブ制御装置のブロック図及び操作支援装置のブロック図、第 4 図、第 5 図及び第 6 図は本発明の第 2 の実施例の全体システム図、スレーブマニピュレータの基準姿勢を示す図及び関節の回転範囲を示す図、第 7 図は本発明の第 3 の実施例の全体システム図、第 8 図、第 9 図及び第 10 図は本発明の第 4 の実施例の全体システム図、操作支援装置のブロック図及び近接センサの配置図、第 11 図及び第 12 図は本発明の第 5 の実施例の全体システム図及び操作支援装置のブロック図、第 13 図及び第 14 図は本発明の第 6 の実施例の全体システム図及び操作支援装置のブロック図である。

1 …マスタマニピュレータ、2 …スレーブマニ

次に動作について説明する。三次元画像入力装置 27 はスレーブ 2 の作業環境の画像を三次元画像信号 29 として出力し、これを用いて三次元環境認識装置 28 は作業環境の三次元情報を得る。この情報は環境形成装置 13 へ環境情報 D として送られ、同装置 13 において CAD データから作成された作業環境の三次元情報の変更に用いられる。この変更した三次元情報は干渉判定装置 14 へ送られ、以下第 2 の実施例と同様な処理が行われる。

第 6 の実施例によれば、スレーブ 2 の作業環境がスレーブ 2 の作業結果等により変化したときでも、その変化に応じて変更された三次元情報をもとに干渉判定装置 14 で干渉の有無の判定を行っているので、干渉の有無の判定の信頼性が向上する。同様に第 1 の実施例においても、第 6 図の実施例で付加した部分を加えることにより同じ効果を得ることができる。

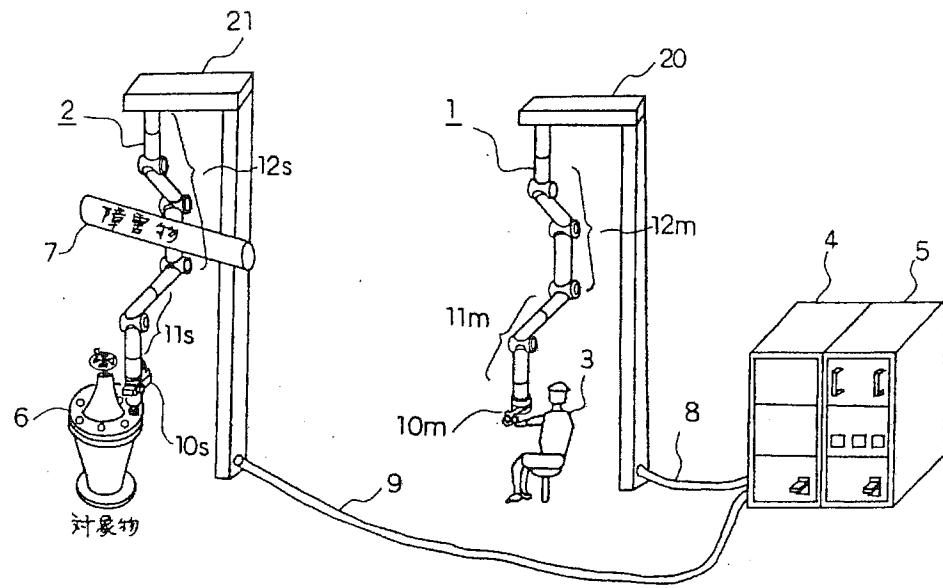
【発明の効果】

本発明によれば、スレーブマニピュレータのアーム部の障害物回避が操作支援装置により実施さ

ビュレータ、3 …オペレータ、4 …マスタスレーブ制御装置、5 …操作支援装置、6 …作業対象物、7 …障害物、10m, 10s …エンドエフェクタ、11m, 11s …手首、12m, 12s …アーム部、19 …アクセル、17 …画像入力装置、18 …画像表示装置、22 …近接センサ、25 …警告装置、27 …三次元画像入力装置。

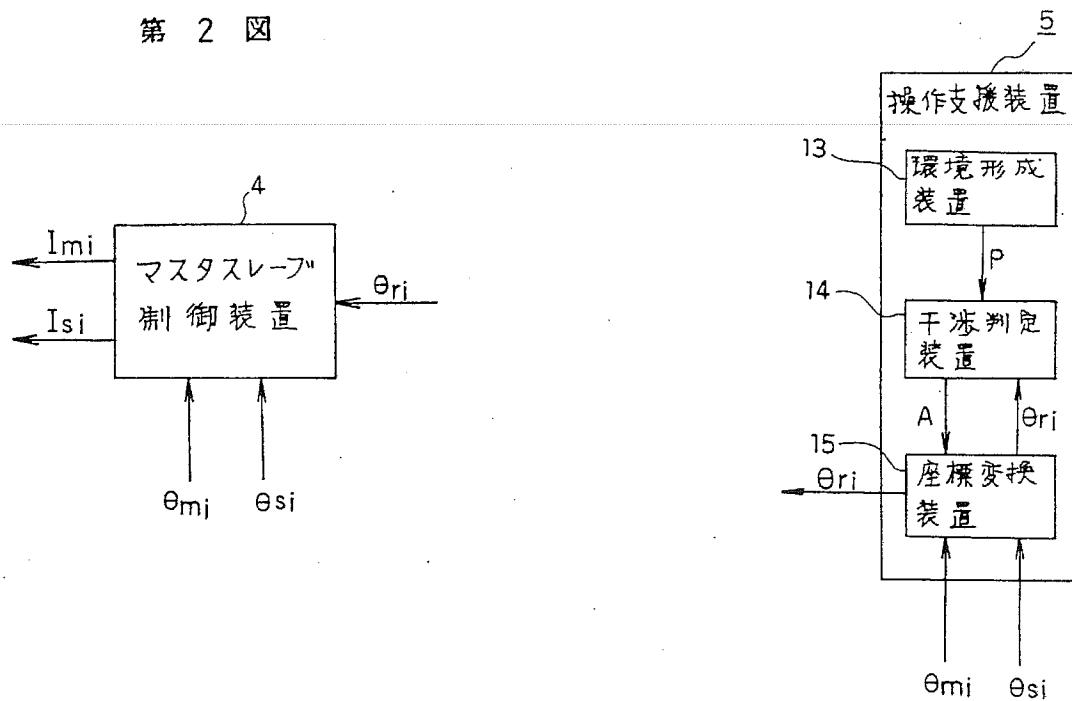
代理人弁理士秋本正実

第 1 図

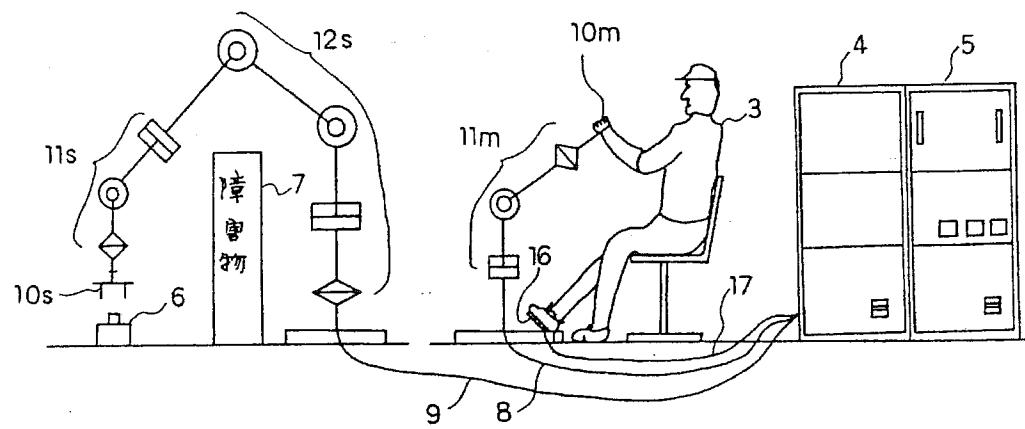


第 3 図

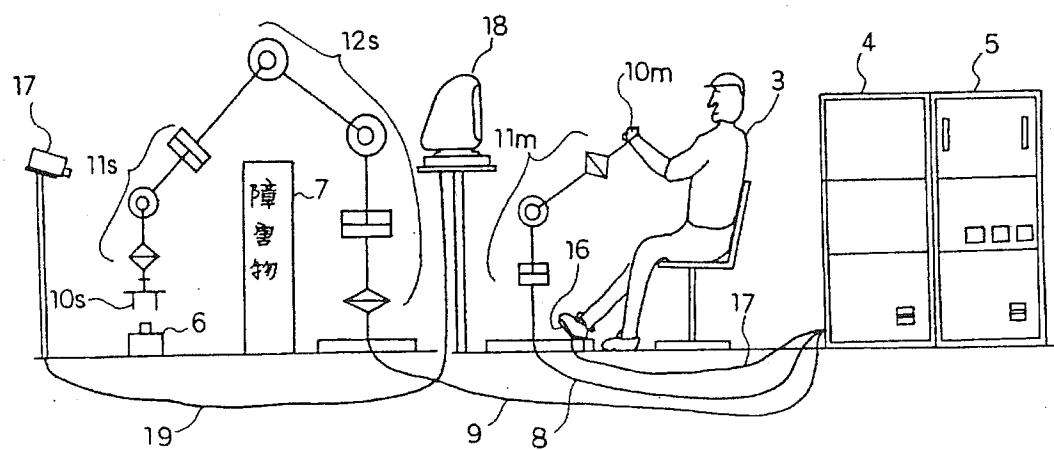
第 2 図



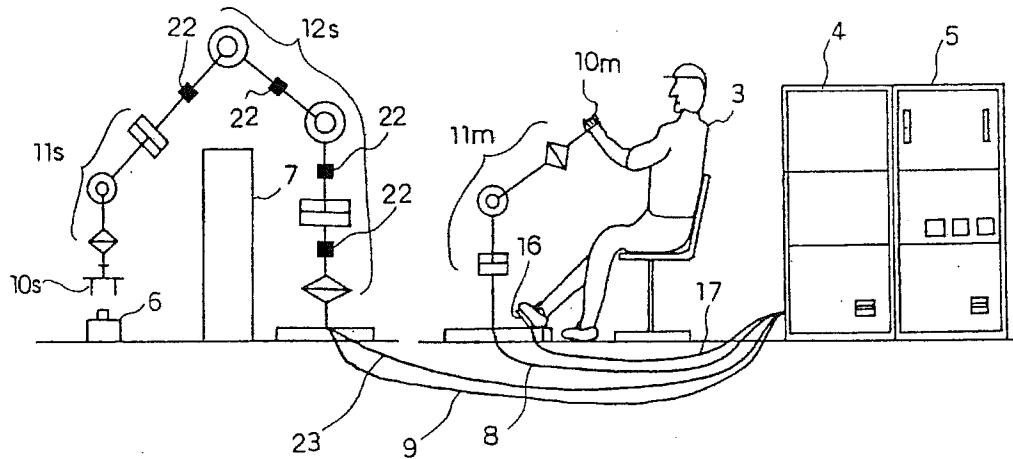
第4図



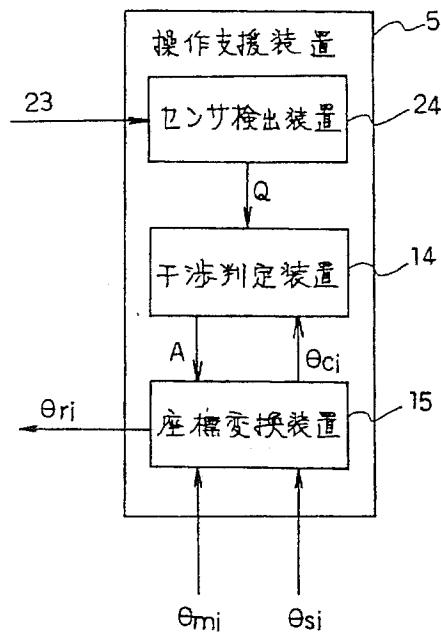
第 7 図



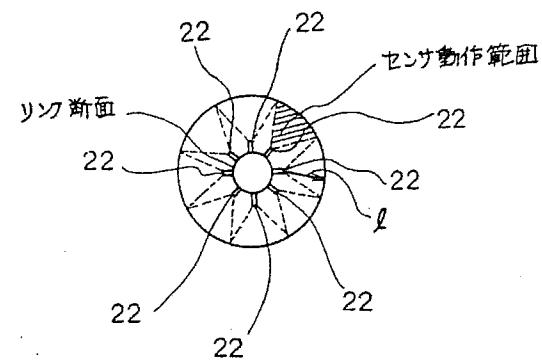
第 8 図



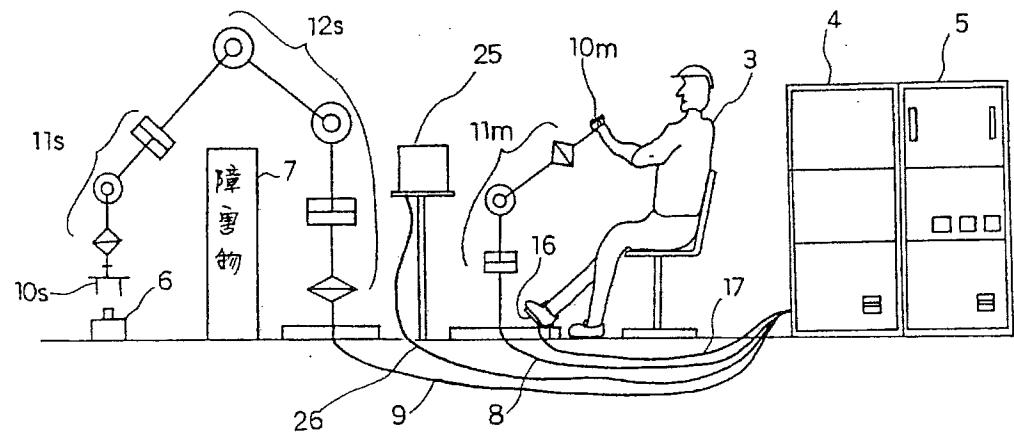
第 9 図



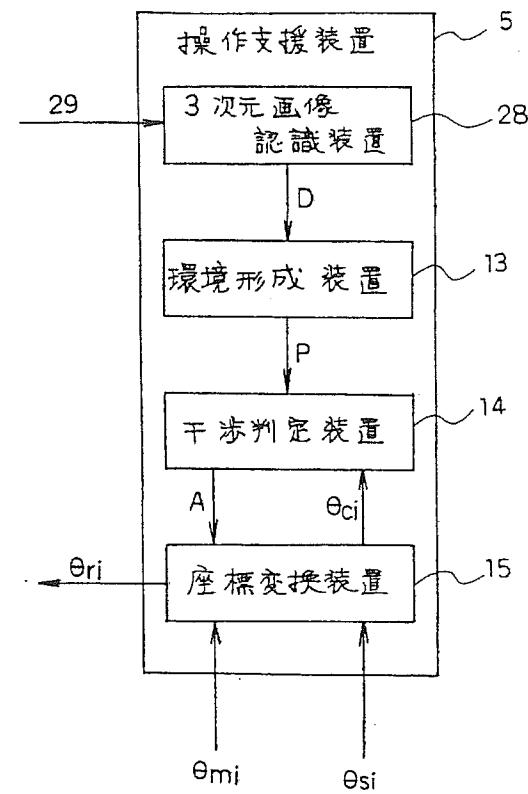
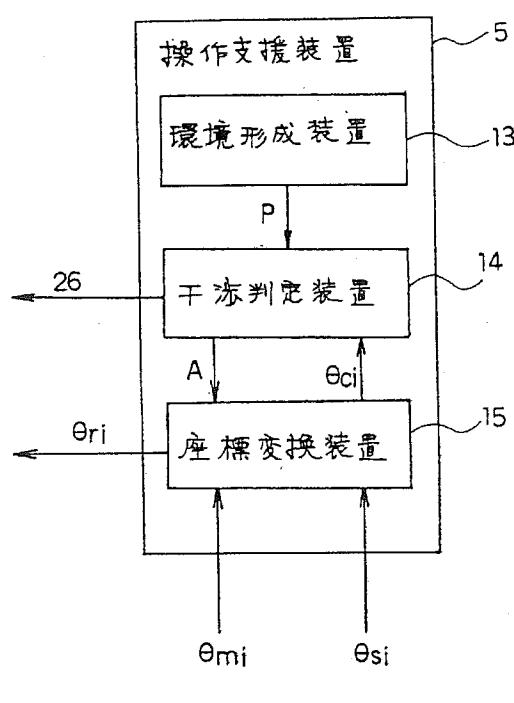
第 10 図



第 11 図



第 12 図



第 13 図

